

**ANALISIS STATIK NON-LINIER *PUSHOVER* PADA OPTIMASI
DESAIN GEDUNG PENDIDIKAN BERSAMA FKUB
DENGAN VARIASI KONFIGURASI DINDING GESER**

**NASKAH PUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MARSA ACHADIAN TYARPRATAMA
NIM. 135060107111002**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017**

ANALISIS STATIK NON-LINIER *PUSHOVER* PADA OPTIMASI DESAIN GEDUNG PENDIDIKAN BERSAMA FKUB DENGAN VARIASI KONFIGURASI DINDING GESER

*(Nonlinear Static Pushover Analysis on Design Optimization of
FKUB College Building using Variation of Shear Wall Configuration)*

Marsa Achadian Tyarpratama, Ari Wibowo, Desy Setyowulan

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Jalan M.T. Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia

Email: marsatyar@gmail.com

ABSTRAK

Desain bangunan tahan gempa sangat diperlukan sebagai upaya meredam getaran akibat percepatan tanah yang sewaktu-waktu bisa terjadi akibat gempa bumi. Untuk mengurangi dampak kerusakan, maka diperlukan elemen penahan gempa untuk memperkuat struktur bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dihilangkannya dilatasi pada bangunan eksisting, penggunaan variasi konfigurasi dinding geser terhadap periode getar alami, *roof displacement*, tingkat kinerja dan daktilitas pada struktur Gedung Pendidikan Bersama FKUB. Pemodelan struktur dilakukan secara tiga dimensi dengan SAP2000 menjadi 8 macam tipe. Untuk mengevaluasi kinerja dari masing-masing struktur, dilakukan analisis statik non-linier *pushover* dengan 2 (dua) prosedur yang mengacu pada metode spektrum kapasitas ATC 40 dengan spektrum respons rencana mengacu pada SNI 03-1726-2012. Dari hasil analisis disimpulkan bahwa variasi jumlah dinding geser yang paling optimum adalah struktur alternatif dengan dinding geser 2 x 8 m (SWB).

Kata kunci: analisis statik non-linier *pushover*, dinding geser, titik kinerja, daktilitas

ABSTRACT

Earthquake resistant building design is indispensable, in an effort to withstand vibration due to the ground acceleration which can occur at any time by an earthquake. To reduce the damage, then retrofit elements required to strengthen earthquake building structures. This research aims to find out the influence of removing dilatation joints on the existing buildings, the use of a shear wall configuration variations towards the natural period of vibration, roof displacement, performance levels and structural ductility of the FKUB College Building. Modeling the structure done in three dimensions with SAP2000 into 8 variations. To evaluate the performance of each structure, conducted a nonlinear static pushover analysis with 2 (two) procedure that refers to capacity spectrum method from ATC 40 with a spectrum of designed response refers to SNI 03-1726-2012. From the analysis results, it was concluded that the most optimum variation of shear wall configuration is the structure with shear walls 2 x 8 m (SWB).

Keywords: nonlinear static pushover analysis, shear wall, performance point, ductility

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki resiko cukup tinggi terhadap gempa. Meningkatnya pertumbuhan penduduk, kelangkaan lahan, dan harga lahan yang terus melambung tinggi di kota-kota besar di Indonesia menuntut pemanfaatan lahan yang efisien, sehingga pembangunan gedung bertingkat ikut meningkat. Dalam perencanaan gedung bertingkat, desain tahan gempa sangat diperlukan untuk menahan getaran akibat percepatan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi yang sewaktu-waktu bisa terjadi.

Dengan besarnya kebutuhan lahan yang berbanding terbalik dengan ketersediaan lahan, struktur gedung ini dirancang memanjang pada dua sisi sejajar sebesar 98.20 m. Sistem dilatasi pada kasus ini digunakan untuk memisahkan bangunan yang mempunyai sisi panjang, dengan tujuan untuk membagi pusat massa bangunan agar pada saat terjadi gempa, pengaruh gempa akan terdistribusi terhadap pusat massa bangunan yang lain.

Dalam penulisan ini dilakukan 8 macam tipe variasi optimasi desain, yaitu 5 (lima) tipe desain alternatif dengan variasi konfigurasi dinding geser dan 3 (tiga) tipe desain dengan variasi lainnya. Struktur tersebut akan dibandingkan perilakunya melalui analisis modal, analisis statik non-linier *pushover* (CSM ATC 40), dan analisis daktilitas perpindahan dengan bantuan SAP2000 18.

TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dihilangkannya dilatasi pada bangunan eksisting,

penggunaan variasi konfigurasi dinding geser terhadap periode getar alami, *roof displacement*, tingkat kinerja dan daktilitas pada struktur GPB FKUB. Sehingga dapat disimpulkan variasi yang paling optimum berdasarkan berat, karakteristik dinamika, kapasitas dalam menahan beban lateral, dan daktilitas struktur.

TINJAUAN PUSTAKA

Gempa Bumi

1. Gempa Bumi Vulkanik

Gempa bumi ini terjadi akibat adanya aktivitas magma yang biasa terjadi sebelum gunung api meletus.

2. Gempa Bumi Tektonik

Gempa bumi ini disebabkan oleh adanya aktivitas pergerakan lempeng pelat tektonik.

3. Gempa Bumi Runtuhan

Gempa bumi yang disebabkan oleh keruntuhan baik di atas maupun di bawah permukaan tanah.

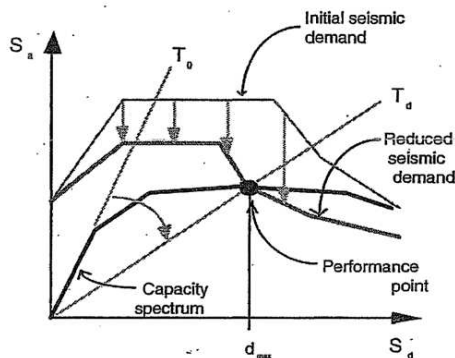
4. Gempa Bumi Buatan

Gempa bumi buatan adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas manusia.

Desain Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

Performance based design mempunyai 2 (dua) elemen utama dalam perencanaannya, yaitu kapasitas (*capacity*) dan beban yang direncanakan (*demand*). Kemampuan struktur untuk menahan beban lateral akibat gempa sampai pada sebelum mengalami keruntuhan disebut sebagai kapasitas (*capacity*). Sedangkan pergerakan tanah akibat gempa yang digambarkan sebagai kurva spektrum respons adalah beban (*demand*).

Salah satu analisis yang dapat digunakan untuk desain bangunan tahan



gempa berbasis kinerja adalah analisis statik non-linier *pushover*.

Gambar 1. Analisis statik non-linier *pushover*

(Sumber: Applied Technology Council [ATC-40], 1997)

Prosedur dalam Menentukan Demand

Berdasarkan ATC 40 terdapat 2 (dua metode) untuk menentukan *demand*, yaitu :

a. Capacity Spectrum Method

- Merupakan metode *iterative* yang bertujuan untuk menentukan lokasi titik *performance* struktur dengan kapasitas yang ada dan *demand* yang diminta.
- Lokasi *performance point* harus memenuhi dua kriteria, yaitu :
 1. Berada pada kurva spektrum kapasitas.
 2. Berada pada kurva *demand spectral* yang telah direduksi dari keadaan elastis (*damping* 5%).
- Ada tiga macam prosedur yang dapat dipilih dalam metode ini :
 1. Prosedur A : digunakan oleh pemula karena paling mudah digunakan dalam *spreadsheet* dan paling mudah dipahami, merupakan cara analisis berdasarkan rumusan – rumusan tertentu.

2. Prosedur B : melakukan penyederhanaan bilinear pada kurva kapasitas sehingga cara ini relatif sedikit iterasinya.

3. Prosedur C : murni grafis sehingga paling tepat untuk penyelesaian manual tanpa *spreadsheet*.

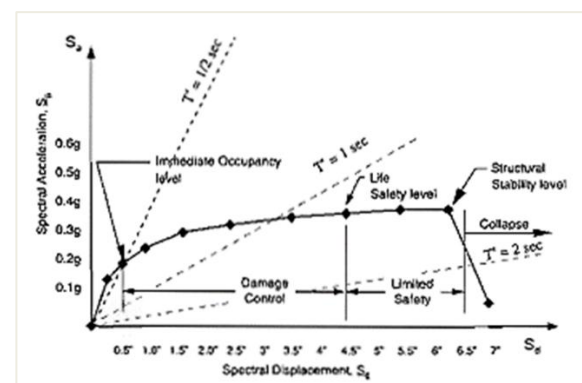
b. Displacement Coefficient Method

- Metode dengan proses numerik langsung dalam menghitung *displacement demand* sehingga tidak perlu mengonversi kapasitas ke dalam koordinat spektral.

Tingkat Kinerja Menurut ATC 40

Tingkat kinerja elemen struktural suatu struktur dalam desain berbasis kinerja dibagi menjadi enam, yaitu:

- SP – 1 *Immediate Occupancy*
- SP – 2 *Damage Control*
- SP – 3 *Life Safety*
- SP – 4 *Limited Safety*
- SP – 5 *Collapse Prevention*
- SP – 6 *Not Considered*



Gambar 2. Tingkat kinerja
(Sumber: ATC-40, 1997)

Perencanaan Dimensi Dinding Geser

Ketebalan dinding geser (t_w) minimum direncanakan dengan metode empiris, yaitu :

$$t_w \geq \frac{1}{25} h w \dots\dots\dots (1)$$

$$tw \geq \frac{1}{25}lw \quad \dots\dots\dots$$

(2)

dimana:

hw : tinggi bagian dinding

lw : panjang bagian dinding

Daktilitas Struktur

Faktor daktilitas perpindahan (*displacement ductility factor*) biasanya digunakan sebagai evaluasi pada struktur yang dianalisis kinerjanya terhadap beban gempa. Secara umum, faktor daktilitas perpindahan berkisar antara 3 sampai dengan 6. Berikut ini persamaan untuk memperoleh faktor daktilitas tersebut :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \dots\dots\dots (3)$$

dengan :

μ_{Δ} = faktor daktilitas perpindahan

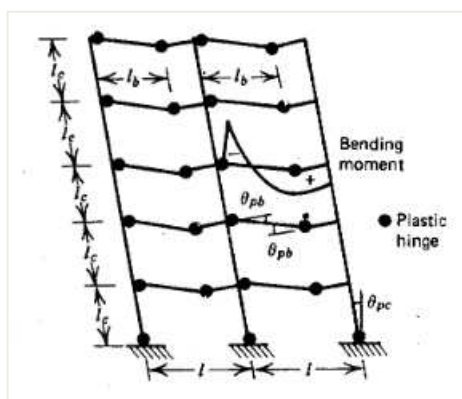
Δ_{max} = perpindahan maksimum

Δ_y = perpindahan saat terjadi leleh

Mekanisme Keruntuhan

1. Beam sidesway mechanism

Mekanisme ini terjadi apabila kelelahan mulai terjadi pada penampang kritis dari elemen-elemen balok sebelum elemen-elemen kolom mencapai kondisi tersebut, sehingga sendi-sendi plastis pada balok akan muncul terlebih dahulu.

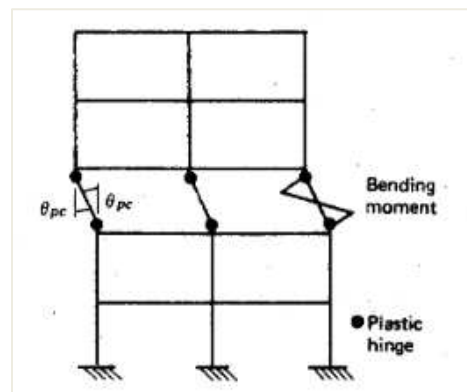


Gambar 3. *Beam sidesway mechanism*

(Sumber : R. Park & T. Paulay, 1975)

2. Column sidesway mechanism

Mekanisme ini terjadi apabila kelelahan mulai terjadi pada penampang kritis dari elemen-elemen kolom sebelum elemen-elemen balok mencapai kondisi tersebut, sehingga sendi-sendi plastis pada kolom akan muncul terlebih dahulu.



Gambar 4. *Column sidesway mechanism*
(Sumber: R. Park & T. Paulay, 1975)

METODE PENELITIAN

Desain Pendahuluan

Penjelasan mengenai data bangunan secara umum dan mutu bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 1. Data umum bangunan

Nama gedung	Gedung Pendidikan Bersama FKUB
Lokasi	Kota Malang
Fungsi	Gedung perkuliahan
Jumlah lantai	10 lantai (lantai dasar s/d 9)
Luas bangunan	2465 m ² (98.6 m x 25 m)
Tinggi bangunan	47.3 m (tidak termasuk atap)

Tabel 2. Mutu bahan

Bahan	Mutu
Beton	K-350 (f'c = 29,05 MPa)

Tulangan Ulir	U-39 ($f_y = 390 \text{ MPa}$)
Tulangan Polos	U-25 ($f_y = 240 \text{ MPa}$)

geser tipe E		
--------------	--	--

Variasi Parameter

Penjelasan secara rinci mengenai variasi parameter yang diberikan pada analisis ini dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Rencana variasi parameter

Tipe	Jumlah	Keterangan
OD Struktur asli dengan dilatasi	-	Bangunan eksisting
OND Struktur asli tanpa dilatasi	-	Dilatasi dihilangkan, ukuran balok dan kolom pada daerah dilatasi diambil yang terbesar dari gambar perencanaan
NSW Struktur alternatif tanpa dinding geser	-	Memperbesar ukuran kolom pada As. 1-3 dan 14-15 menjadi 600 x 800 mm
SWA Struktur alternatif dengan dinding geser tipe A	1 x 8 m	Dinding geser pada as. 9'-AB
SWB Struktur alternatif dengan dinding geser tipe B	2 x 8 m	Dinding geser pada as. 3-DE, 14-DE
SWC Struktur alternatif dengan dinding geser tipe C	3 x 8 m	Dinding geser pada as. 9'-AB, 3-DE, 14-DE
SWD Struktur alternatif dengan dinding geser tipe D	1 x 4 m + 1 x 5 m	Dinding geser pada as. 7-DE, 10-DE
SWE Struktur alternatif dengan dinding	1 x 4 m + 1 x 5 m + 1 x 8 m	Dinding geser pada as. 9'-AB, 7-DE, 10-DE

Pembebanan

Pembebanan pada masing-masing tipe struktur mengacu pada Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung tahun 1983.

Material dinding yang digunakan adalah bata ringan dengan berat jenis (γ) sebesar 90 kg/m^3 . Beban dinding yang dimodelkan besarnya menyesuaikan tinggi lantai atau bagian dindingnya.

Pembebanan untuk beban mati dan beban hidup pada pelat lantai yaitu; spesi 63 kg/m^2 , keramik 24 kg/m^2 , plafon 11 kg/m^2 , penggantung plafon 7 kg/m^2 , dan beban hidup 250 kg/m^2 .

Sedangkan untuk spektrum respons gempa didapatkan melalui perhitungan yang mengacu pada SNI 1726:2012.

Pemodelan Elemen Struktur

Kolom dan balok dimodelkan dengan *frame sections – section designer* pada SAP2000 yang umum digunakan untuk penampang yang sudah diketahui penulangannya dengan penyesuaian yaitu untuk pemutusan tulangan balok pada daerah tumpuan maupun lapangan pada elemen tersebut tidak terdefinisi. Sehingga pemodelan setiap elemen balok menggunakan jumlah tulangan atas dan bawah terbanyak diantara penampang kedua daerah tersebut.

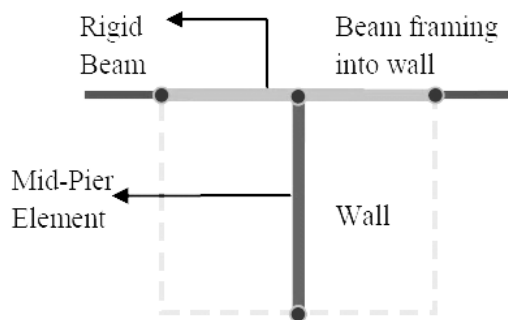
Kemudian untuk pelat dimodelkan dengan *area sections – shell* tanpa dilakukan pemodelan tulangan terperinci. Selanjutnya untuk tumpuan pada struktur didefinisikan dengan tumpuan jepit.

Pemodelan Dinding Geser

Dinding geser dimodelkan dengan *mid-pier frame* yaitu pemodelan dinding

geser dengan elemen rangka/frame seperti pada elemen balok dan kolom, dengan menggunakan parameter penampang dinding geser yang sudah ditentukan. Sendi plastis P-M-M terdefinisikan menurut FEMA 356 dengan distribusi penulangan yang diberikan melalui *section designer* pada SAP2000 18. Gambar 5 menunjukkan pemodelan dinding geser dengan *mid-pier frame*.

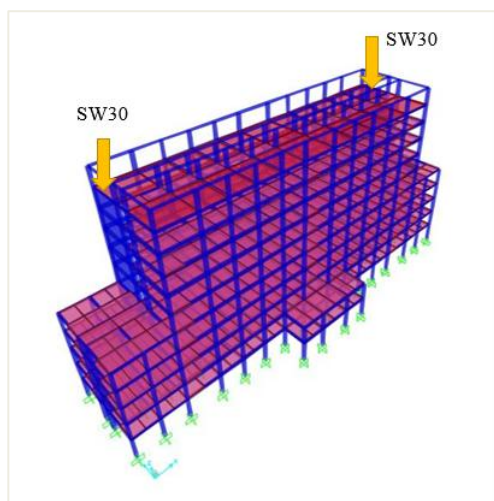
Terdapat dua model desain dinding geser, yaitu SW20 dan SW30. Model SW20 dirancang untuk dinding dengan panjang bagian 4 - 5 m. Sedangkan model SW30 dirancang untuk dinding dengan panjang bagian 8 m.



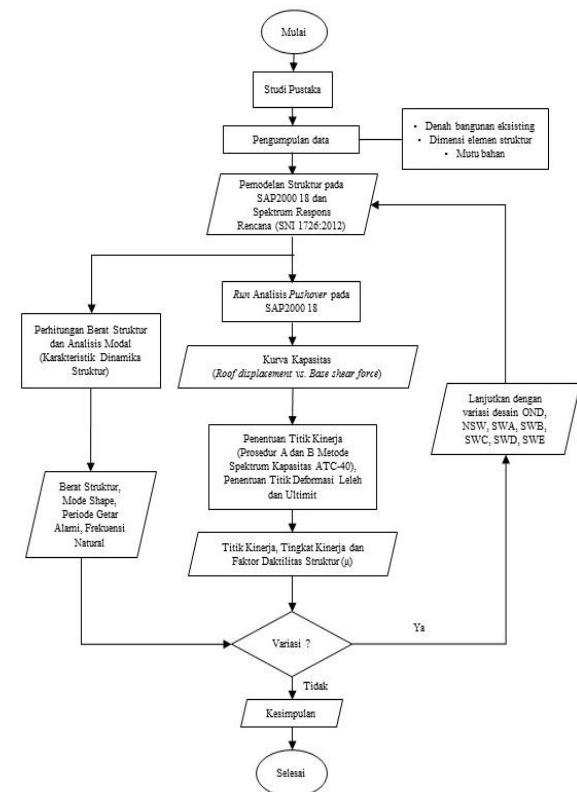
Gambar 5. Pemodelan *mid-pier element* (Sumber: M. K. Rahman, M. Ajmal, M. H. Baluch & Z. Celep, 2012)

Contoh Pemodelan Struktur

Pada Gambar 6 dapat dilihat contoh pemodelan pada SAP2000 untuk struktur tipe SWB.



Gambar 6. Pemodelan struktur tipe SWB

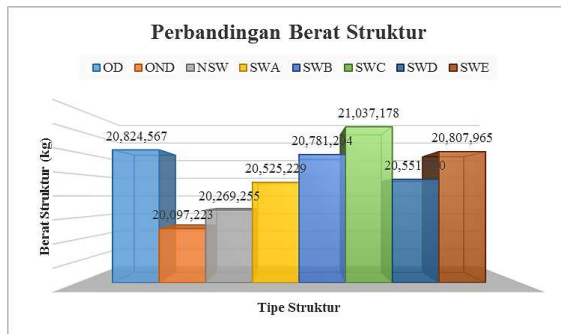


Gambar 7. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Berat Struktur

Berat struktur sangat penting untuk dibandingkan, karena selain kebutuhan dalam penyelesaian analisis *pushover*, dapat juga diketahui perkiraan volume pekerjaan struktur, dalam hal ini beton bertulang yang dibutuhkan saat pelaksanaan nanti. Adanya dilatasi membuat struktur tipe OD memiliki berat yang terbesar yaitu 20,824,567 kg dibandingkan dengan struktur alternatif tanpa maupun dengan dinding geser, sehingga dapat disimpulkan bahwa dinding geser dengan jumlah tertentu dapat menggantikan manfaat dilatasi tanpa perlu mengorbankan nilai ekonomisnya.



Gambar 8. Grafik perbandingan berat struktur

Perbandingan Periode Getar Alami dan Frekuensi Natural Struktur

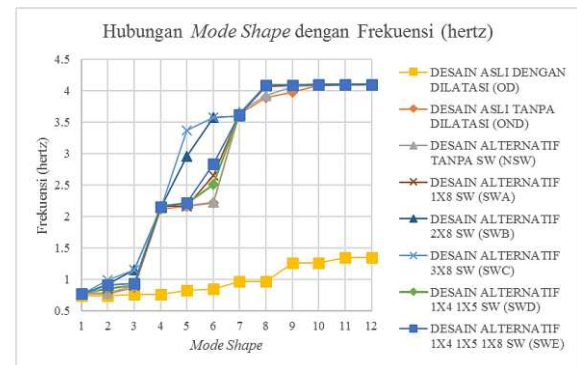
Dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa pada *mode shape* ke-1 dan ke-4, periode getar alami dan frekuensi natural tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dari struktur asli maupun alternatif. Hal tersebut dikarenakan pada *mode shape* ini, struktur mengalami translasi ke arah sumbu x dimana dinding geser tidak diberikan.

Kemudian pada *mode shape* ke-2, periode getar alami dan frekuensi natural dari struktur alternatif memberikan perbedaan yang signifikan. Dimana periode getar alami terkecil dan frekuensi natural terbesar ditunjukkan oleh struktur tipe SWC. Hal tersebut dikarenakan pada *mode shape* ini, struktur mengalami translasi ke arah sumbu y dimana dinding geser diberikan. Sehingga kekakuan struktur berbanding lurus dengan jumlah dinding geser dan frekuensi natural, serta berbanding terbalik dengan periode getar alami.

Sedangkan pada *mode shape* ke-3, ke-5 dan ke-6, struktur mengalami rotasi. Pada *mode shape* ini, struktur alternatif tipe SWB dan SWC menghasilkan periode getar alami terkecil dan frekuensi natural terbesar yang terpaut cukup jauh dari struktur alternatif lainnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur alternatif tipe

tersebut memiliki kekuatan terhadap torsi yang baik.

Sementara pada struktur asli tipe OD, periode getar alami relatif sangat besar, frekuensi natural juga relatif sangat kecil dan terpaut jauh dengan struktur tipe yang lainnya.

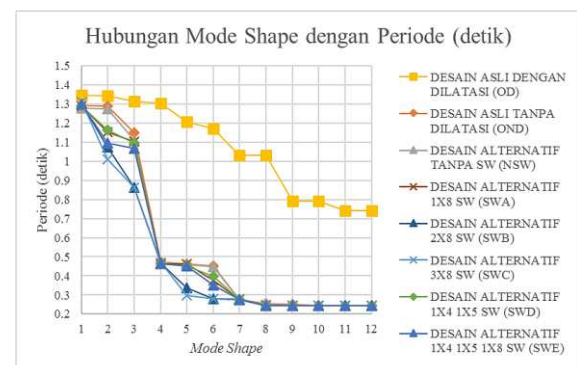


Gambar 9. Grafik hubungan *mode shape* dengan periode getar alami (detik)

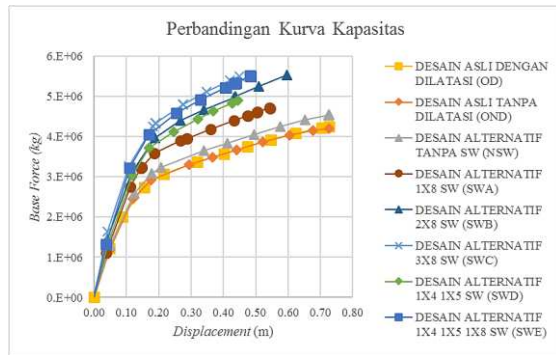
Gambar 10. Grafik hubungan *mode shape* dengan frekuensi natural (hertz)

Perbandingan Kurva Kapasitas

Dari Gambar 11 dapat disimpulkan bahwa penggunaan dilatasi tidak berpengaruh signifikan terhadap kekuatan struktur aslinya. Selain itu, jumlah dinding



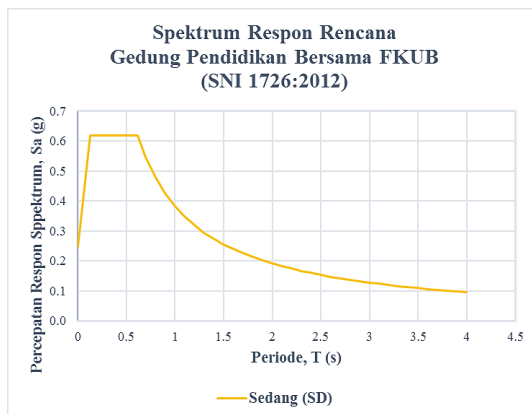
geser berbanding lurus dengan kekuatan struktur, seperti pada struktur alternatif SWC dengan jumlah dinding geser 3 x 8 m memiliki performa struktur terkuat dibanding struktur alternatif lainnya.



Gambar 11. Grafik perbandingan kurva kapasitas

Spektrum Respons Rencana

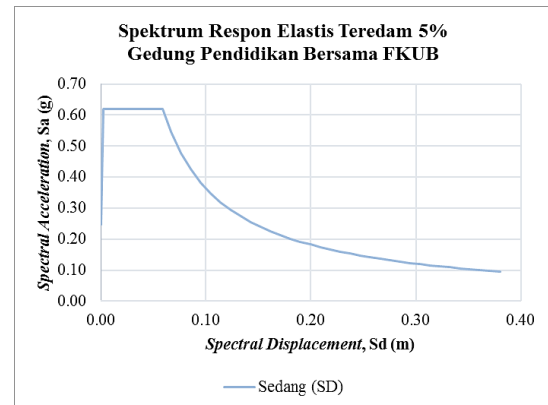
Dalam analisis statik, beban gempa diberikan melalui spektrum respons. Pada kasus ini, spektrum respons mengacu pada SNI 1726:2012. Klasifikasi situs yang digunakan adalah tanah sedang (S_D) sesuai dengan nilai tahanan penetrasi standar lapangan (N) situs GPB FKUB.



Gambar 12. Spektrum respons rencana

Spektrum Respons Elastis Teredam 5%

Spektrum respons elastis teredam 5% didapatkan melalui spektrum respons rencana, kemudian lakukan konversi dari *standard format response spectrum* menjadi *ADRS format response spectrum* dengan merubah satuan pada periode, T (s) menjadi *spectral displacement*, S_d (m).



Gambar 13. Spektrum respons elastis teredam 5%

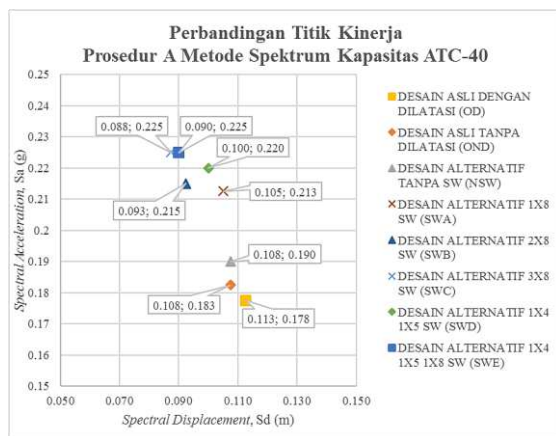
Perbandingan Hasil Prosedur A dan B

Dari Tabel 4, Tabel 5 dan Gambar 14 dan 15, dapat disimpulkan bahwa prosedur A dan B metode spektrum kapasitas ATC-40 menunjukkan hasil yang relatif sama dan tren yang sama pula. Apabila ditinjau dari titik kinerjanya, kedua prosedur menunjukkan bahwa struktur tipe SWC adalah yang paling kuat diantara struktur tipe lainnya.

Kecuali untuk *roof displacement* (Δ_{roof}), kedua prosedur tidak menunjukkan tren yang sama, dan cenderung tidak beraturan. Pada prosedur A, struktur yang mengalami *roof displacement* terkecil adalah struktur tipe SWC yaitu 0.1272 m, sesuai dengan kekuatannya. Sedangkan pada prosedur B, struktur yang mengalami *roof displacement* terkecil adalah struktur tipe SWD yaitu 0.1630 m.

Tabel 4. Perbandingan titik kinerja prosedur A

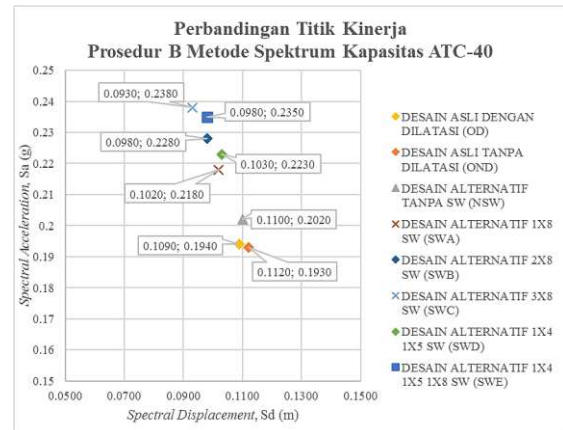
Tipe Struktur	Titik Kinerja Prosedur A				
	Sd	Sa	Δ_{roof}	V	Tingkat Kinerja
	m	g	M	kg	
OD	0.113	0.178	0.1636	2,776,524	IO
OND	0.108	0.183	0.1557	2,770,382	IO
NSW	0.108	0.190	0.1560	2,896,850	IO
SWA	0.105	0.213	0.1525	3,279,994	IO
SWB	0.093	0.215	0.1344	3,359,152	IO
SWC	0.088	0.225	0.1272	3,557,849	IO
SWD	0.100	0.220	0.1452	3,399,641	IO
SWE	0.090	0.225	0.1308	3,519,362	IO



Gambar 14. Perbandingan titik kinerja prosedur A

Tabel 5. Perbandingan titik kinerja prosedur B

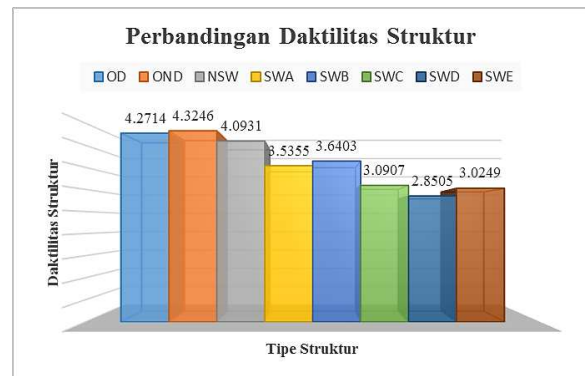
Tipe Struktur	Titik Kinerja Prosedur B				
	Sd	Sa	Δ_{roof}	V	Tingkat Kinerja
	m	g	M	kg	
OD	0.109	0.194	0.1780	2,858,737	IO
OND	0.112	0.193	0.1710	2,878,185	IO
NSW	0.110	0.202	0.1690	3,002,876	IO
SWA	0.102	0.218	0.1730	3,456,044	IO
SWB	0.098	0.228	0.1720	3,774,278	IO
SWC	0.093	0.238	0.1720	4,128,554	IO
SWD	0.103	0.223	0.1630	3,623,198	IO
SWE	0.098	0.235	0.1660	4,013,045	IO



Gambar 15. Perbandingan titik kinerja prosedur B

Perbandingan Daktilitas Struktur

Dari analisa daktilitas dapat disimpulkan bahwa penambahan dinding geser memang menambah kekuatan pada struktur, akan tetapi seiring dengan itu, daktilitas akan berkurang karena deformasi ultimit terpaut dekat dengan deformasi lelehnya.



Gambar 16. Perbandingan daktilitas struktur

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari analisis yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan poin-poin sebagai berikut :

1. Dihilangkannya dilatasi berpotensi menimbulkan bahaya akibat munculnya sendi plastis pada kolom struktur bagian sayap. Hal tersebut dikarenakan kekakuan kolom

- struktur bagian sayap tidak cukup kuat untuk mengimbangi kekakuan kolom struktur bagian utama.
2. Periode getar alami (T) dari struktur dengan dinding geser menunjukkan perbedaan, dimana pada *mode shape* ke-2, periode getar alami terkecil ditunjukkan oleh struktur alternatif tipe SWC yaitu 1,009 detik dengan jumlah dinding geser 3 x 8 m. Sementara periode getar alami struktur asli dengan dilatasi tipe OD mencapai 1,343 detik. Sehingga kekakuan struktur berbanding lurus dengan jumlah dinding geser, dan berbanding terbalik dengan periode getar alami.
 3. *Roof displacement* (Δ_{roof}) yang terjadi untuk kedua prosedur yang dilakukan menunjukkan hasil yang berbeda. Untuk prosedur A, yang dihasilkan secara manual dengan *spreadsheet*, menunjukkan bahwa struktur alternatif tipe SWC dengan jumlah dinding geser terbanyak, 3 x 8 m, menghasilkan Δ_{roof} terkecil yaitu 12.72 cm. Sementara untuk prosedur B, yang dihasilkan dari program SAP2000 18, menunjukkan bahwa struktur alternatif tipe SWD dengan jumlah dinding geser 1 x 4 m dan 1 x 5 m, menghasilkan Δ_{roof} terkecil yaitu 16.60 cm dibanding variasi lainnya.
 4. Karena tingkat kinerja pada desain asli sudah dalam tingkat *Immediate Occupancy* (IO), maka peningkatan yang terjadi lebih kepada kapasitas struktur dalam menahan beban lateral, bukan kepada peningkatan tingkat kinerjanya.
 5. Struktur dengan dinding geser memiliki daktilitas yang rendah dibandingkan dengan struktur tanpa

dinding geser. Karena dinding geser berfungsi untuk meningkatkan kapasitas struktur dalam menahan beban lateral, bukan untuk meningkatkan daktilitas. Dimana struktur asli tanpa dilatasi (OND) memiliki daktilitas tertinggi yaitu 4.3246. Namun apabila dibandingkan antara struktur dengan dinding geser saja, struktur tipe SWB memiliki daktilitas tertinggi yaitu 3.6403.

6. Dari seluruh informasi yang sudah didapatkan, penulis menarik kesimpulan bahwa variasi jumlah dinding geser yang paling optimum adalah struktur alternatif dengan dinding geser 2 x 8 m (SWB) karena; pertama, berat struktur ini masih dibawah struktur tipe OD sehingga lebih ekonomis dari bangunan eksisting; kedua, daktilitasnya cukup baik dibandingkan dengan struktur alternatif lainnya meskipun dari segi kekuatan tipe SWC lebih unggul.

SARAN

Adapun saran penulis untuk penelitian selanjutnya mengenai analisis statik non-linier *pushover* adalah perlunya :

1. Pemahaman yang cukup mengenai analisis statik non-linier *pushover* dengan program SAP2000 18, terutama pengertian dari parameter-parameter *pushover*.
2. Pemahaman yang menyeluruh mengenai penempatan elemen dinding geser dengan menggunakan program SAP2000 18 sebagai *mid-pier frame* maupun sebagai *shell*.
3. Penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh perubahan keadaan situs dari tanah sedang (S_D) menjadi tanah lunak (S_E) terhadap tingkat kinerja

- struktur untuk memberikan kondisi gempa yang terburuk.
4. Data-data struktur yang dimasukkan dalam program SAP2000 18 agar lebih terperinci.
 5. Evaluasi kembali pada *hinge results* untuk mengetahui apakah perilaku sendi plastis yang muncul dapat diterima atau tidak.

DAFTAR PUSTAKA

- Federal Emergency Management Agency. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings: Seismic Prestandard*. FEMA Edition 356. Nov. Virginia: ASCE.
- Applied Technology Council. ATC – 40. (1997). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building*. Volume 1. California. California Seismic Safety Comision.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Tahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). *SNI 2052: 2014 Baja Tulangan Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Churrohman, F. (2012). Studi Perilaku Dinding Geser Beton Bertulang dan Dinding Geser Pelat Baja dengan Analisis Statik Non-Linier Pushover. *Skripsi*. Dipublikasikan. Depok: Universitas Indonesia.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2002). *SNI-1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. Bandung: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2002). *SNI-2487-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Febriana, A. (2016). Analisis Pushover untuk Performance Based Design (Studi Kasus Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Nawy, E.G. (2005). *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Park, R. (1988). Ductility Evaluation from Labolatory and Analytical Testing. *Proceedings of Ninth World Confrence on Earthquake Engineering*: 605-616. Tokyo-Kyoto: World Confrence on Earthquake Engineering.
- Park, R., & Paulay, T. (1975). *Reinforced Concrete Structures*. New York: John Wiley & Sons. Inc
- Rahman, M.K., Ajmal, M., Baluch, M.H., Celep, Z. (2012). Nonlinear Static Pushover Analysis of an Eight Story RC Frame-Shear Wall Building in Saudi Arabia. *Proceedings of 15th World Confrence on Earthquake Engineering*. Lisboa: World Confrence on Earthquake Engineering.

Riza, M. (2006). Perencanaan Struktur Gedung Swalayan Ramai Semarang. *Skripsi*. Dipublikasikan. Semarang: Universitas Diponegoro.